

## WPLYW WIELOLETNIEGO NAWOŻENIA NA WODOODPORNOŚĆ RÓŻNYCH FRAKCJI AGREGATÓW GLEBOWYCH

IRENA SUWARA<sup>1</sup>, KATARZYNA PAWLAK-ZARĘBA

*Katedra Agronomii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159,  
02-787 Warszawa*

**Synopsis.** Badania wykonano w latach 2010–2013 na doświadczeniu statycznym założonym metodą losowanych bloków w czterech powtórzeniach w 1955 roku w Chylicach na czarnej ziemi o składzie granulometrycznym gliny lekkiej. Doświadczenie prowadzono w zmianowaniu czteropolowym: buraki cukrowe (2010) – jęczmień jary (2011) – rzepak ozimy (2012) – pszenica ozima (2013). Celem badań było określenie wpływu nawożenia mineralnego, organicznego i mineralno-organicznego na wodoodporność wybranych frakcji agregatów glebowych. Uzyskane wyniki wskazują, że nawożenie obornikiem i obornikiem łącznie z nawozami mineralnymi sprzyja tworzeniu bardziej trwałej struktury. Najmniejszą wodoodpornością charakteryzowały się agregaty glebowe z obiektu nienawożonego oraz nawożonego wyłącznie mineralnie. Ponadto stwierdzono, że wodoodporność agregatów glebowych poszczególnych frakcji zależy od ich wielkości i maleje wraz ze wzrostem ich średnicy.

**Słowa kluczowe:** nawożenie obornikiem, nawożenie mineralne, wodoodporność agregatów glebowych, struktura gleby

### WSTĘP

Jednym z podstawowych celów rolnictwa zrównoważonego jest ochrona gleb przed degradacją. Podstawowym wskaźnikiem świadczącym o degradacji gleby jest mała trwałość struktury gleby [Domżał i Pranagal 1994, Lenart 2002, 2008, Suwara i Gawrońska-Kulesza 2011]. Struktura gleby jest jednym z ważniejszych czynników kształtujących jej właściwości wodno-powietrzne [Jiao i in. 2006, Piechota 2005, Suwara 2010]. Szczególnie istotna jest wodoodporność agregatów glebowych, czyli ich zdolność do opierania się destrukcyjnemu działaniu wody [Paluszek i Żembrowski 2008, Turski 2010, Walczak i Witkowska 1974]. Badanie wodoodporności poszczególnych frakcji daje możliwość określenia trwałości oraz procentowego udziału agregatów glebowych o różnych wymiarach powstałych z rozmycia wybranej frakcji [Gawrońska-Kulesza i Suwara 1988, Walczak i Witkowska 1974,]. Agregaty glebowe rozpadające się na skutek działania wody mogą powodować powstawanie skorupy glebowej przez zatykanie porów glebowych przez cząstki ilu i pyłu [Le Bissonnais 1996, Singh i Khera 2009, Vermang i in. 2009]. Skutkiem nietrwałej struktury jest między innymi spływ powierzchniowy wody i erozja gleby. Trwałe agregaty glebowe zapewniają optymalną gęstość objętościową gleby suchej i korzystny udział porów o średnicy 0,2–30 µm mogących zatrzymywać wodę użyteczną [Amézketa 1999, Bronick i Lal 2005, Suwara 2010]

Duży wpływ na powstawanie i trwałość struktury agregatowej mają zabiegi agrotechniczne, a w szczególności uprawa roli, nawożenie organiczne i mineralne oraz zmianowanie roślin

<sup>1</sup> Adres do korespondencji – *Corresponding address:* irena\_suwara@sggw.pl

[Amézketa 1999, Bronick i Lal 2005, Lenart 2002, Pagliai i in. 2004, Suwara 2010, Suwara i Gawrońska-Kulesza 2011].

Stosowanie nawozów organicznych i naturalnych poprzez wzbogacanie gleby w materię organiczną z reguły poprawia trwałość struktury gleby [Celik i in. 2004, Dąbek-Szreniawska i in. 2000, Kuc i Waławowicz 2010, Lenart 2002, 2008, Suwara 2010, Waławowicz i Tendziagolska 2008]. W literaturze spotyka się również doniesienia o braku wpływu bądź niekorzystnym oddziaływaniu nawożenia organicznego na wodoodporność agregatów glebowych [Giemza-Mikoda i in. 2011, Kordas i Majchrowski 2001, Parylak i Waławowicz 2004]. Wprowadzanie do gleby tylko nawozów mineralnych bez wapnowania prowadzi do pogorszenia trwałości struktury gleby [Lenart 2002, Suwara 2010].

W większości prac badawczych określana jest wodoodporność w próbach mieszanych złożonych z różnych wielkości agregatów, natomiast rzadko badana jest wodoodporność agregatów glebowych oddzielnie dla każdej frakcji [Gawrońska-Kulesza i Suwara 1988, Lenart 2008, Walczak i Witkowska 1974, Witkowska-Walczak i in. 2004].

Celem prezentowanych badań było określenie wodoodporności wybranych frakcji agregatów glebowych czarnej ziemi oraz procentowego udziału agregatów o różnych wymiarach powstałych z rozmycia danej frakcji agregatów w zależności od stosowania wieloletniego nawożenia organicznego i mineralnego.

## MATERIAŁ I METODY

Do badań wykorzystano doświadczenie założone w 1955 roku na czarnej ziemi błońskiej, według WRB zaliczanej do Endogleyic Phaeozem o składzie granulometrycznym gliny lekkiej na polu doświadczalnym Katedry Agronomii w Chylicach koło Warszawy (52°06' N, 20°33' E). Zawartość azotu ogółem w warstwie ornej waha się od 0,89 do 1,11 g·kg<sup>-1</sup> gleby, zawartość węgla organicznego od 8 do 10,6 g·kg<sup>-1</sup> gleby, fosforu przyswajalnego 60 do 86 mg·kg<sup>-1</sup> gleby, potasu od 46 do 129 mg·kg<sup>-1</sup> gleby, a pH<sub>KCl</sub> wynosi od 6,2 do 6,6. Doświadczenie założono metodą losowanych bloków w czterech powtórzeniach.

W doświadczeniu do 1989 roku stosowano trójpolowe zmianowanie: ziemniaki – jęczmień jary – żyto, a od 1990 roku rośliny uprawiane są w czteropolowym zmianowaniu: burak cukrowy – jęczmień jary – rzepak ozimy – pszenica ozima (w każdym roku jedna roślina). Czynnikiem badawczym było nawożenie: A – mineralne (NPK), B – organiczne (obornik – OB), C – mineralno-organiczne (1/2NPK +1/2OB), D – bez nawożenia („0”). Wielkość poletek do zbioru wynosiła 50 m<sup>2</sup>. Dawki nawozów podano w tabeli 1. Wszystkie zabiegi uprawowe wykonywano zgodnie z zaleceniami agrotechnicznymi (stosowano orkowy system uprawy roli).

Próby glebowe do badań o masie około 3 kg pobierano z każdego poletka z warstwy ornej 0–20 cm w latach 2010–2013 po zbiorze roślin (w przypadku buraków przed ich zbiorem). Wilgotność gleby w momencie pobierania prób wynosiła średnio od 10,8 do 13,4% wagowych. Glebę z każdego poletka, po doprowadzeniu gleby do stanu powietrznie suchego, przesiano przez sito o średnicy 10 mm w celu oddzielenia brył >10 mm od agregatów glebowych. Z tak przygotowanej gleby odważono z każdego poletka próby o masie 500 g w dwóch powtórzeniach, które rozsegregowano przesiewając przez 2 minuty na przesiewaczu z zestawem sit o średnicy oczek 7; 5; 3; 1; 0,5 i 0,25 mm. Z uzyskanych frakcji agregatów po przesiewaniu na sucho do oznaczenia wodoodporności odważono w dwóch powtórzeniach po 25 gramów gleby z wybranych frakcji (>7 mm; 7–5 mm; 5–3 mm; 3–1 mm; 1–0,5 mm). Procentową zawartość wodoodpornych agregatów glebowych oznaczono metodą przesiewania na mokro przez 12 minut w aparacie Bakszejewa konstrukcji Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie z zestawem

Tabela 1. Schemat doświadczenia nawozowego w zmianowaniu  
 Table 1. Diagram of fertilizer experiment in crop rotation

Rok Year	Roślina Plant	Nawożenie – Fertilization								(0)
		NPK			OB(FM)	½ NPK + ½ OB (FM)				
		N	P	K		N	P	K	OB(FM)	
		kg·ha <sup>-1</sup>			t·ha <sup>-1</sup>	kg·ha <sup>-1</sup>			t·ha <sup>-1</sup>	
2010	Burak cukrowy Sugar beet	200	56	200	40	100	28	100	20	–
2011	Jęczmień jary Spring barley	100	36,5	91,5	20	50	18,3	45,8	10	–
2012	Rzepak ozimy Winter rape	100	36,5	91,5	20	50	18,3	45,8	10	–
2013	Pszenica ozima Winter wheat	100	36,5	91,5	20	50	18,3	45,8	10	–

OB(FM) – obornik – farmyard manure; (0) – bez nawożenia – without fertilization

sit 7; 5; 3; 1; 0,5; 0,25 mm. Pozostałe agregaty nierozmyte z każdego sita przeniesiono na sączki i po wysuszeniu wyznaczono ich suchą masę i obliczono procentowy udział w stosunku do próby wyjściowej, średnią ważoną średnicę agregatu wodoodpornego ( $MWD_g$ ) oraz współczynnik wodoodporności ( $W_w$ ) [Walczak i Witkowska 1974]. Średnią ważoną średnicę agregatów wodoodpornych ( $MWD_g$ ) obliczono ze wzoru:

$$MWD_g = \frac{\sum B \times C}{100}$$

gdzie

B – środek klasowy danej frakcji w mm

C – procent wagowy agregatów wodoodpornych

Wodoodporność agregatów glebowych ( $W_w$ ) dla poszczególnych frakcji obliczono według wzoru:

$$W_w = \frac{MWD_g \text{ dansj frakcji}}{B} \cdot 100[\%]$$

gdzie

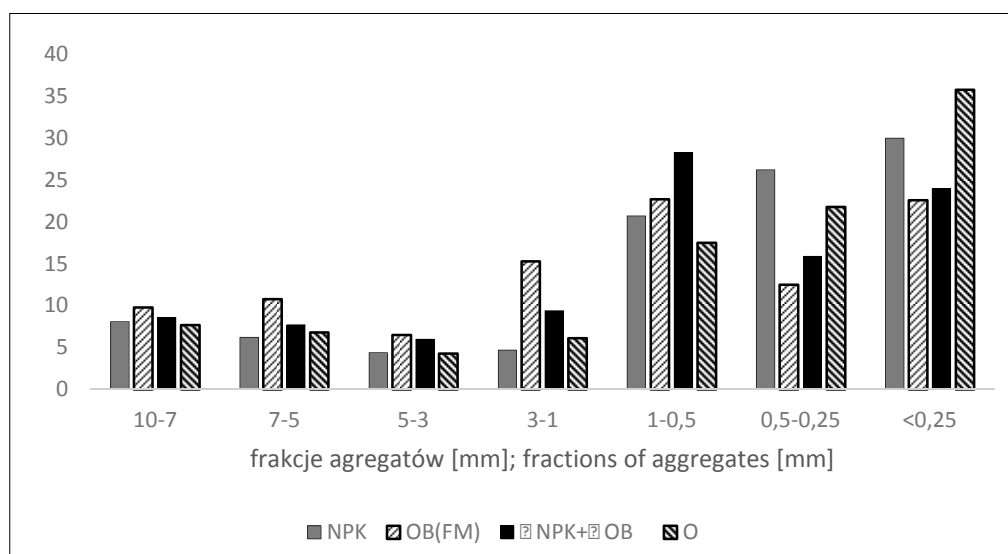
B – środek klasowy danej frakcji

Wyniki przedstawione w tabelach i na wykresach są średnimi z lat 2010–2013. Postąpiono tak, gdyż wpływ nawożenia na wodoodporność agregatów glebowych był podobny w poszczególnych latach.

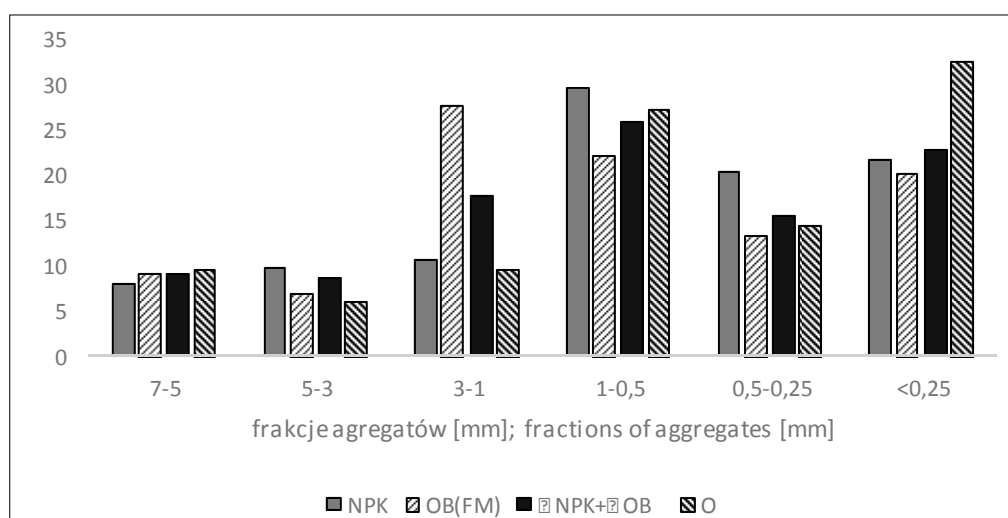
Wyniki badań poddano analizie wariancji, a w celu określenia różnic między wynikami dla badanych kombinacji zastosowano test Tukeya przy poziomie istotności  $p=0,05$ .

## WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki badań wskazują, że na rozmycie badanych frakcji agregatów glebowych i ich wodoodporność mają wpływ zarówno wielkości rozmywanych agregatów jak i stosowane nawożenie. Najmniej odporne na działanie wody były agregaty frakcji 10–7 i 7–5 mm, gdyż tylko 7,7 do 9,8% agregatów tych frakcji nie uległo rozmyciu niezależnie od nawożenia. Głównym produktem ich rozpadu były gruzelki o średnicy mniejszej od 1 mm. W glebie nawożonej obornikiem (OB i ½ NPK + ½ OB) agregaty frakcji 10–7 mm i 7–5 mm (rys. 1 i 2) były bardziej trwa-



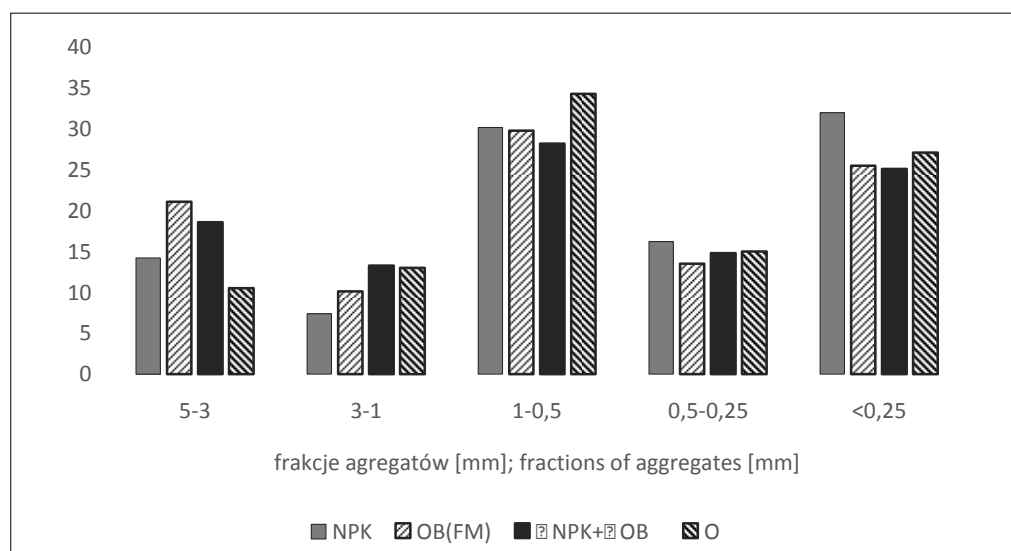
Rys. 1. Udział produktów rozpadu agregatów frakcji 10–7 mm w zależności od nawożenia (%)  
Fig. 1. Disintegration of aggregates of 10–7 mm depending on fertilization (%)



Rys. 2. Udział produktów rozpadu agregatów frakcji 7–5 mm w zależności od nawożenia (%)  
Fig. 2. Disintegration of aggregates of 7–5 mm depending on fertilization (%)

le aniżeli pochodzące z gleby nawożonej wyłącznie mineralnie (NPK) bądź nienawożonej od 1955 roku (O). Należy podkreślić, że nawożenie organiczne spowodowało zwiększenie procentowego udziału cennej rolniczo frakcji 3–1 mm, a zmniejszenie udziału frakcji <0,25 mm w stosunku do obiektu kontrolnego.

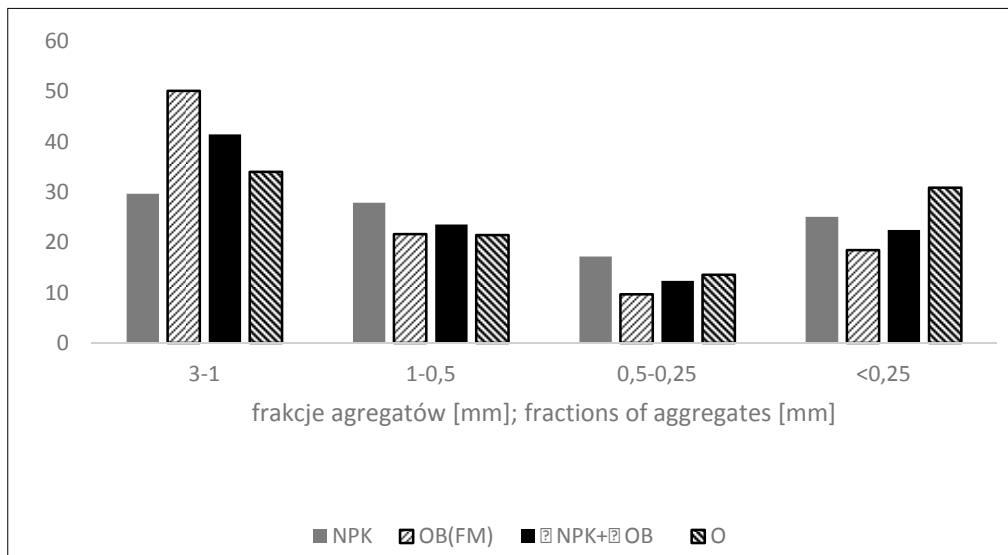
Agregaty o wymiarach 5–3 mm charakteryzowały się znacznie większą odpornością niż agregaty o większych wymiarach, ale również zaznaczył się wpływ nawożenia (rys. 3).



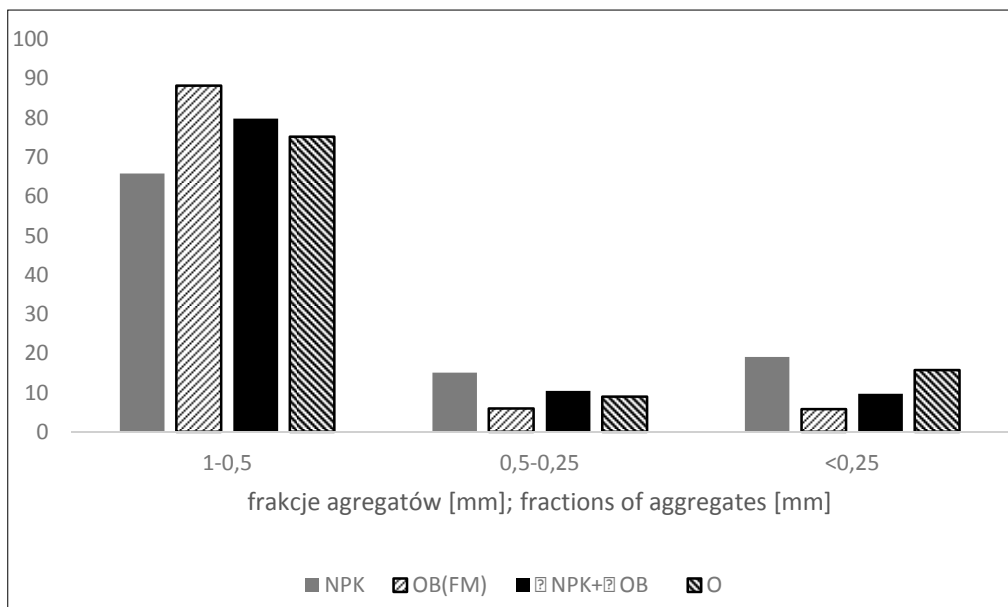
Rys. 3. Udział produktów rozpadu agregatów frakcji 5-3 mm w zależności od nawożenia (%)  
 Fig. 3. Disintegration of aggregates of 5-3 mm depending on fertilization (%)

Na obiektach nawożonych obornikiem (OB i ½ NPK + ½ OB) od 18,6 do 21,1% agregatów frakcji 5–3 mm nie uległo rozmyciu, natomiast na wyłącznym nawożeniu mineralnym (NPK) i kontroli nienawożonej odpowiednio 14,2 oraz 10,5%. Podobny kierunek zmian zanotowano dla frakcji 3–1 mm (rys. 4). Agregaty frakcji 1–0,5 mm niezależnie od nawożenia okazały się najbardziej odporne na działanie wody (rys. 5). Stanowiły one od 65,8% na obiektach nawożonych mineralnie (NPK) do 88,2% trwałych gruzelków w glebie nawożonej wyłącznie obornikiem (OB). Należy podkreślić, że trwałość agregatów czarnej ziemi wzrasta wraz ze zmniejszaniem się ich średnicy. Podobne wyniki uzyskały Gawrońska-Kulesza i Suwara [1988]. Badania Walczaka i Witkowskiej [1974] wskazują na taką zależność w czarnoziemach, natomiast w rędzinie najbardziej odporne na działanie wody były agregaty frakcji 5–3 mm. Z badań tych Autorów wynika, że udział produktów rozpadu poszczególnych frakcji agregatów pod wpływem wody zależy od typu gleby.

Na korzystny wpływ obornika na trwałość struktury wskazują wartości średniej ważonej średnicy agregatu wodoodpornego (gruzelka –  $MWD_g$ ) oraz współczynnika wodoodporności ( $W_w$ ) (tab. 2). Istotnie największe wartości  $MWD_g$  i  $W_w$  stwierdzono dla następujących frakcji: 7–5 mm, 5–3 mm, 3–1 mm gleby pochodzącej z obiektów nawożonych wyłącznie obornikiem



Rys. 4. Udział produktów rozpadu agregatów frakcji 3-1 mm w zależności od nawożenia (%)  
 Fig. 4. Disintegration of aggregates of 3-1 mm depending on fertilization (%)



Rys. 5. Udział produktów rozpadu agregatów frakcji 1-0,5 mm w zależności od nawożenia (%)  
 Fig. 5. Disintegration of aggregates of 1-0,5 mm depending on fertilization (%)

Tabela 2. Średnia ważona średnica agregatu wodoodpornego (MWD<sub>g</sub>) i współczynnik wodoodporności (W<sub>w</sub>) agregatów glebowych różnych frakcji w zależności od nawożenia (średnie z lat 2010–2013)

Table 2. Mean weight diameter of waterproof aggregate (MWD<sub>g</sub>) and index of water resistance (W<sub>w</sub>) of soil aggregates of various dimensions depending on fertilization (means of years 2010–2013)

Nawożenie Fertilization	Frakcje agregatów – Fractions of aggregates (mm)											
	10–7		7–5		5–3		3–1		1–0,5			
	MWD <sub>g</sub> (mm)	W <sub>w</sub> (%)	MWD <sub>g</sub> (mm)	W <sub>w</sub> (%)	MWD <sub>g</sub> (mm)	W <sub>w</sub> (%)	MWD <sub>g</sub> (mm)	W <sub>w</sub> (%)	MWD <sub>g</sub> (mm)	W <sub>w</sub> (%)		
NPK	1,62	19,1	1,41	23,5	1,04	26,0	0,91	45,5	0,58	77,3		
OB (FM)	2,29	26,9	1,63	27,2	1,35	33,8	1,22	61,0	0,69	92,0		
½ NPK + ½ OB(FM)	1,93	22,7	1,53	25,5	1,31	32,8	1,08	54,0	0,65	86,7		
(0)	1,61	18,9	1,32	22,0	1,02	25,5	0,93	46,5	0,62	82,7		
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub>	r.n.	r.n.	0,12	1,9	0,22	5,3	0,16	7,1	r.n.	r.n.		

OB (FM) – obornik – farmyard manure; (0) – bez nawożenia – without fertilization

r.n. – różnice nieistotne – no significant differences

lub obornikiem łącznie z nawozami mineralnymi, natomiast najmniejsze dla obiektów nienawożonych oraz nawożonych wyłącznie nawozami mineralnymi. Podobne tendencje stwierdzono dla frakcji 10–7 mm i 1–0,5 mm, jednak różnice nie zostały udowodnione statystycznie.

Porównując wodoodporność agregatów glebowych można stwierdzić, że najbardziej trwałą strukturę wykazuje czarna ziemia nawożona obornikiem (OB i ½ NPK + ½ OB), natomiast nawożenie mineralne zwiększa jej podatność na rozmywanie.

Reasumując można stwierdzić, że wieloletnie nawożenie obornikiem istotnie poprawia wodoodporność agregatów glebowych różnych frakcji, a tym samym trwałość struktury gleby zarówno w porównaniu z działaniem nawożenia mineralnego, jak również z obiektem nienawożonym. Korzystne strukturotwórcze działanie obornika potwierdziło wielu autorów [Celik i in. 2004, Dąbek-Szreniawska i in. 2000, Jiao i in. 2006, Lenart 2008, Suwara 2010, Waclawowicz i Tendziagolska 2008]. W świetle literatury wprowadzanie obornika do gleby jest jednym z najważniejszych czynników tworzenia trwałej struktury glebowej chroniących ją przed degradacją.

## WNIOSKI

1. Wodoodporność badanych frakcji agregatów glebowych zależała nie tylko od systemu nawożenia ale także ich wielkości.
2. Nawożenie obornikiem oraz obornikiem łącznie z nawozami mineralnymi sprzyja tworzeniu bardziej trwałej struktury gleby. Mniejszą wodoodpornością charakteryzowały się agregaty glebowe z obiektu nienawożonego oraz nawożonego wyłącznie mineralnie.
3. Wodoodporność agregatów glebowych poszczególnych frakcji malała wraz ze wzrostem ich średnicy.

## PIŚMIENNICTWO

- Amézketa E. 1999. Soil aggregate stability: a review. *J. Sustain. Agric.* 14: 82–151.
- Bronick C. J., Lal R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3–22.
- Celik I., Ortas I., Kilic S. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. *Soil Till. Res.* 78: 59–67.
- Dąbek-Szreniawska M., Wyczółkowski A.I., Jończyk K., Kuś J. 2000. Współzależność między nawożeniem, systemem uprawy, wodoodpornością agregatów glebowych a liczebnością drobnoustrojów. *Acta Agrophys.* 38: 47–52.
- Domżał H., Pranagal J. 1994. Wodoodporność agregatów glebowych jako wskaźnik degradacji gleb wywołanej użytkowaniem rolniczym. *Fragm. Agron.* 11(3): 22–34.
- Gawrońska-Kulesza A., Suwara J. 1988. The influence of plants on water resistance of aggregates of various dimensions. *Pol. J. Soil Sci.* 21(2): 139–143.
- Giemza-Mikoda M., Waclawowicz R., Zimny L., Malak D. 2011. Wpływ zróżnicowanego nawożenia organicznego i wzrastających dawek azotu na wskaźniki struktury gleby. *Fragm. Agron.* 28(3): 16–25.
- Jiao Y., Whalen J.K., Hendershot W.H. 2006. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in sandy-loam soil. *Geoderma* 134: 24–33.
- Kordas L., Majchrowski P. 2001. Wpływ międzyplonu ścierniskowego i głębszowania w uprawie buraka cukrowego na wskaźniki struktury gleby średniej. *Zesz. Nauk. AR Wrocław* 415, Rol. 80: 145–152.
- Kuc P., Waclawowicz R. 2010. Wpływ różnych wariantów uprawy, stosowanych pod buraki cukrowe, na strukturę roli. *Prob. Inż. Rol.* 2: 13–23.



- Le Boissomais Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crumb stability and erodibility: I. Theory and methodology. *Europ. J. Soil Sci.* 47: 425–437.
- Lenart S. 2002. Studia nad wodoodpornością agregatów glebowych w różnych systemach uprawy roli i roślin. Wyd. Fundacja „Rozwój SGGW”: ss. 104.
- Lenart S. 2008. Wpływ sposobu użytkowania gruntów oraz stosowanej agrotechniki na strukturę gruzelkową gleby. *Ochr. Środ. Zasobów Nat.* 35/36: 173–179.
- Pagliai M., Vignozzi N., Pellegrini S. 2004. Soil structure and the effect of management practises. *Soil Till. Res.* 79: 131–143.
- Paluszek J., Żembrowski W. 2008. Ulepszanie gleb ulegających erozji w krajobrazie lessowym. *Acta Agrophys., Rozpr. Monogr.* 164: ss. 160.
- Parylak D., Waclawowicz R. 2004. Wpływ nawożenia organicznego w trzecim roku po zastosowaniu oraz dawek azotu na wskaźniki struktury gleby średniej. *Rocz. Glebozn.* 15(1): 193–201.
- Piechota T. 2005. Wpływ wieloletniego oddziaływania systemów następstwa roślin i nawożenia na fizyczne właściwości gleby. *Fragm. Agron.* 22(2): 158–166.
- Singh M.J., Khera K.L. 2009. Physical indicators of soil quality in relation to soil erodibility under different land use. *Arid Land Res. Manag.* 23: 152–167.
- Suwara I. 2010. Rola wieloletniego nawożenia w kształtowaniu wybranych właściwości gleby lekkiej ze szczególnym uwzględnieniem stosunków wodno-powietrznych. Wyd. SGGW, Warszawa: ss. 98.
- Suwara I., Gawrońska-Kulesza A. 2011. Wpływ roślin uprawianych w wąskie i szerokie rzędy na strukturę gleby. *Fragm. Agron.* 28(2): 98–105.
- Turski M. 2010. Wpływ sposobu użytkowania na trwałość agregatów gleby wytworzonej z lessu. *Acta Agrophys.* 15(1): 197–203.
- Vermang J., Demeyer V., Cornelis W.M., Gabriels D. 2009. Aggregate stability and erosion response to antecedent water content of a Loess Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 718–726.
- Waclawowicz R., Tendziągolska E. 2008. Długotrwałe oddziaływanie nawożenia organicznego i azotowego na wskaźniki struktury roli. *Prob. Inż. Rol.* 2: 81–90.
- Walczak R., Witkowska B. 1974. Określanie wodoodporności różnych frakcji agregatów glebowych. *Rocz. Glebozn.* 25(2): 275–282.
- Walczak R., Witkowska B. 1976. Metody badania i sposoby opisywania agregacji gleby. *Probl. Agrof.* 19: 5–52.
- Witkowska-Walczak B., Turski M., Lipiec J. 2004. Analiza jakości agregacji gleb pływających wytworzonych z utworu piaszczysto-pyłowego i lessu. *Acta Agrophys.* 4(1): 221–233.

I. SUWARA, K. PAWLAK-ZARĘBA

#### THE EFFECT OF LONG-TERM FERTILIZATION ON WATERPROOF OF SOIL AGGREGATES OF VARIOUS DIMENSIONS

##### Summary

The research was conducted in 2010–2013 in a permanent fertilization experiment established in 1955 at Chyllice on the black earth classified as loamy coarse sand with the granulometric composition of light loam. The experiment was carried out in four-crop rotation: sugar beet (2010) – spring barley (2011) – winter rape (2012) – winter wheat (2013). The experiment was arranged as randomized block design in four replications. The aim of these studies was to determine the effect of mineral, organic and combined mineral-organic fertilization systems on the water resistance of aggregates of various dimensions. The soil for studies was taken from the arable layer of 0–20 cm. Applying farmyard manure increased water aggregates stability of different fractions and the mean weight diameter of waterproof aggregate. The worse structure showed of the mineral fertilization and no fertilization treatments. It was also noticed that water stability of soil aggregates depended on their dimensions and decreasing with the increasing their diameter.

**Key words:** manure fertilization, mineral fertilization, water resistance of soil aggregates, soil structure

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 15.06.2016

Do cytowania – *For citation*:

Suwara I., Pawlak-Zaręba K. 2016. Wpływ wieloletniego nawożenia na wodoodporność różnych frakcji agregatów glebowych. *Fragm. Agron.* 33(2): 71–80.